

모빌리티용 온디바이스 연계 GNSS 데이터 처리 및 정합성 검증 기법

김동언^{1*}, 조수현¹, 추인오¹, 윤만석¹, 권재억¹, 박태욱¹, 박규병²

¹구미전자정보기술원, ²카네비모빌리티

*dekim@geri.re.kr, shcho@geri.re.kr, iochu@geri.re.kr, yms@geri.re.kr, kwonjuk@geri.re.kr,
ptu@geri.re.kr, gbpark@kanavi-mobility.com

On-Device Integrated GNSS Data Processing and Consistency Verification Method for Mobility Applications

Dong-Eon Kim^{1*}, Soo-Hyun Cho¹, In-Oh Chu¹, Mahn-Suk Yoon¹, Jae-Uk Kwon¹, Tae-Uk Park¹,
and Gyu-Byeong Park²

¹Gumi Electronics & Information Technology Research Institute

²KANAVI MOBILITY Co., Ltd.

요약

본 논문은 지능 온디바이스 환경과 연계된 모빌리티용 TSN(Time-Sensitive Networking) 네트워크 프로세서를 활용하여, 다중 GNSS(Global Navigation Satellite System) 모듈의 성능을 정량적으로 평가하고 고정밀 측위를 지원하는 시스템을 제안한다. GNSS 모듈 간 위치 비교는 실제 주행 환경에서 샘플링 불규칙, 클릭 드리프트, 데이터 누락 등으로 인해 어려움을 겪는다. 이를 해결하기 위해 본 시스템은 TSN 기반 네트워크 보드 상에서 다중 GNSS 데이터를 실시간으로 수집·처리하며, 비선형 시계열 정합 기법(Dynamic Time Warping, DTW) 기반의 비선형 시계열 정합 기법을 적용하였다. 제안된 방법은 두 시계열 간 국소적 시간축 왜곡을 보정하여, 누락 구간과 불규칙한 샘플 간격을 정렬하고, 궤적 간 평균 오차, 최대 오차, 정규화 거리 등의 성능 지표를 산출한다. 이 지표를 활용해 GNSS 모듈 간의 상대적 정확도를 정량적으로 비교하고, Network RTK 보정 환경과 결합함으로써 재현성 있는 측위 성능 평가를 가능하게 한다.

I. 서 론

GNSS 기반 측위 기술은 차량, 로봇, 드론 등 이동체의 위치 인식에 널리 활용되고 있으나, 실제 환경에서는 ① 로그 샘플링의 불규칙성, ② 수신기 간 클릭 기준의 상이함, ③ 데이터 누락 및 신호 드리프트 등으로 인해, 정확한 위치 비교 및 정합이 어렵다는 문제가 있다.

특히 복수의 GNSS 수신기를 병렬 운용하는 환경에서는 로그 간 시계열 불일치로 인해 모듈 간의 성능 차이를 정량적으로 검증하기 어렵다. 기존의 단순 시간 정렬 또는 리샘플링 방식은 이러한 비선형적 불일치를 충분히 보정하지 못하며, 결과적으로 궤적 간 평균 오차나 위치 드리프트의 실제 원인을 파악하기 어렵다.

이러한 이슈를 해결하기 위해 본 연구에서는 차량용 네트워크 프로세서를 활용하여, GNSS 로그를 실시간으로 전처리하고 정합성 평가를 수행하는 시스템 구조를 설계하였다.

본 논문에서 제안하는 기술은 다음과 같이 정의할 수 있다.

복수 GNSS 로그 간의 시간 불일치 및 샘플링 불규칙성을 보정하는 비선형 시계열 정합 기법(DTW) 구현, TSN 기반 임베디드 환경에서의 GNSS 정합 알고리즘 실시간 구동 구조 설계, NXP S32G-VNP 및 Telechips 보드를 통한 시스템 성능 실증 및 검증을 통해 자율주행차 환경 인식 및 고정밀 지도 정합에 확장 적용하는 것이다.

II. 본론

2.1. 시스템 구조 및 구성 요소

본 시스템은 TSN(Time-Sensitive Networking) 기반 차량용 네트워크

프로세서, 다중 GNSS 수신모듈, NTRIP 클라이언트, GNSS 성능 평가 모듈, 외부 분석 장치로 구성된다. 시스템의 중심 구성 요소인 임베디드 컴퓨터는 TSN 기반 결정적 이더넷(deterministic Ethernet) 구조를 적용하여 GNSS 로그 데이터를 저지연·고정밀로 수집하고 전처리한다. 또한 GNSS 성능 평가 모듈과 DTW(Dynamic Time Warping) 기반 정합 알고리즘을 내장하여 궤적의 유사도와 거리 오차를 실시간으로 산출한다. GNSS 수신 모듈은 GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou 등 복수의 위성 항법 시스템 수신기를 병렬로 운용함으로써, 환경 변화에 따른 각 모듈의 응답 특성을 비교·분석할 수 있도록 설계되었다. RTCM/NTRIP 클라이언트는 기준국으로부터 RTCM 보정 데이터를 수신하여, 각 GNSS 로그에 실시간으로 보정을 적용한다. 마지막으로 외부 연산 장치는 실시간으로 수집된 로그 데이터를 고정밀 후처리하고, 그 결과를 시각화하여 통계적 신뢰성을 평가함으로써 전체 GNSS 시스템의 성능을 종합적으로 검증한다.

2.2. 비선형 시계열 정합 기법

비정상적 시계열 데이터의 시간 불일치를 해결하기 위해 DTW(Dynamic Time Warping) 알고리즘을 적용하였다 [1-4].

DTW는 두 궤적의 시간축을 비선형적으로 변환하여 최적의 매핑 경로를 탐색함으로써, 로그 길이 불일치·누락 샘플·클릭 드리프트를 동시에 보정한다.

서로 다른 GNSS의 궤적은 다음과 같이 최적 경로로 대응된다.

$$W = \{(p_1, q_1), (p_2, q_2), \dots, (p_k, q_k)\} \quad (1)$$

여기서,

$p_1 = (\phi_{p_i}, \lambda_{p_i})$: 첫 번째 GNSS의 위도·경도 쌍

$q_1 = (\phi_{p_i}, \lambda_{p_i})$: 두 번째 GNSS의 위도·경도 쌍

W : 시간축 비선형 정렬 결과로 얻어진 좌표쌍들의 시퀀스이다.

수식 (1)을 통하여 서로 다른 시간 간격으로 수집된 로그를 최적의 1:1 매칭 형태로 재정렬하여, 물리적으로 가장 유사한 시점의 두 궤적 점 (p_i, q_i) 쌍을 생성한다.

Haversine은 지구를 구로 가정했을 때, 두 지점의 위도(latitude)와 경도(longitude)로부터 구면 거리를 계산하는 식으로, 정렬된 궤적 (p_i, q_i) 간 거리 d 는 다음과 같이 계산된다.

$$d = 2r \cdot \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right) \quad (2)$$

여기서,

d : 두 점 간의 지표면 거리 [m]

r : 지구 반경 [m] 이다.

수식 (2)는 두 정렬된 궤적 사이의 실제 지표면 거리를 계산하며, 두 점 사이의 중심각을 구한다. 정렬된 궤적 기반의 오차는 각 데이터 포인트의 절대값 오차를 모두 더한 후 총 데이터 개수로 나눈 평균절대오차 방식으로 계산한다.

2.3. 결과 및 분석

도심지 주행 환경에서는 비선형 시계열 정합 기법 기반 정합 결과 평균 수평위치 오차평균이 8cm로 나타났다. 실험 간 편차가 크지 않았으며, 전반적으로 유사한 수준의 결과를 보였다. 각 실험의 측정 결과는 다음과 같다.

표1. 도심지 실험 결과

실험 회차	수평위치 오차 [cm]
1	9
2	8
3	8
4	7
5	8
평균	8

이 결과는 비선형 시계열 정합 기법 기반 정합 알고리즘이 샘플링 불일치 구간에서도 효과적으로 궤적을 재정렬하여, 로그 간 시간축 왜곡을 최소화했음을 나타낸다.

III. 결론

본 연구는 TSN 기반 네트워크 프로세서를 활용하여 다중 GNSS 데이터 정합 및 성능 평가 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 DTW 기반 비선형 시계열 정렬을 통해 복수 GNSS 로그 간의 시간축 불일치, 샘플링 불규칙, 클릭 드리프트를 보정하며, 다양한 성능 지표를 통해 GNSS 모듈 간 정합성과 신뢰도를 정량적으로 평가한다.

본 시스템은 NXP S32G-VNP 보드와 Telechips 개발 보드 양쪽에서 실환경 실증을 통해 안정적인 처리 성능과 정밀도를 검증하였다.

이를 통해 TSN 기반 구조를 이용한 실시간 GNSS 정합 및 성능 평가, 비

선형 정합 알고리즘을 통한 오차 보정 및 재현성 확보, 임베디드 환경에서의 보드 이식성 및 확장성 검증, 실도로 기반의 정량적 성능 평가 체계 구축을 실현하였다.

또한 본 연구의 결과는 GNSS 정합 결과를 시멘틱 세그멘테이션 기반 환경 인식 모델, HD맵 위치 보정, 자율주행 차량의 주행 가능 영역 판단 등으로 확장 적용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 시스템은 지능 온디바이스 기반 자율주행 플랫폼의 핵심 구성요소로서, 고정밀 GNSS 융합 및 실시간 판단 신뢰성을 보장하는 기반 기술로 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획 평가원의 지원을 받아 수행된 연구 결과임(No. RS-2025-252455300, 지능 온디바이스 망연동 시험 플랫폼 개발).

참고 문헌

- [1] Senin, Pavel. "Dynamic time warping algorithm review." Information and Computer Science Department University of Hawaii at Manoa Honolulu, USA 855.1–23 (2008): 40.
- [2] Berndt, Donald J., and James Clifford. "Using dynamic time warping to find patterns in time series." Proceedings of the 3rd international conference on knowledge discovery and data mining. 1994.
- [3] Mei, Jiangyuan, et al. "Learning a mahalanobis distance-based dynamic time warping measure for multivariate time series classification." IEEE transactions on Cybernetics 46.6 (2015): 1363–1374.
- [4] Meshkini, Khatereh, et al. "Multi-annual Change Detection in Long and Dense Satellite Image Time Series based on Dynamic Time Warping." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (2024).